



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 115485584 B

(45) 授权公告日 2025. 05. 30

(21) 申请号 202180028883.5

(22) 申请日 2021.02.16

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 115485584 A

(43) 申请公布日 2022.12.16

(30) 优先权数据
62/977,005 2020.02.14 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2022.10.14

(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/US2021/018191 2021.02.16

(87) PCT国际申请的公布数据
W02021/202004 EN 2021.10.07

(73) 专利权人 斯威夫特导航股份有限公司
地址 美国加利福尼亚州

(72) 发明人 弗格斯·麦克弗森·诺布尔
塞巴斯蒂安·卡尔卡那格
保罗·格吉驰

(74) 专利代理机构 北京安信方达知识产权代理有限公司 11262
专利代理师 张少波 杨明钊

(51) Int. Cl.
G01S 19/44 (2006.01)
G01S 19/04 (2006.01)
G01S 19/45 (2006.01)
G01S 19/55 (2006.01)

(56) 对比文件
US 2013234885 A1, 2013.09.12
US 6278945 B1, 2001.08.21

审查员 龙黎红

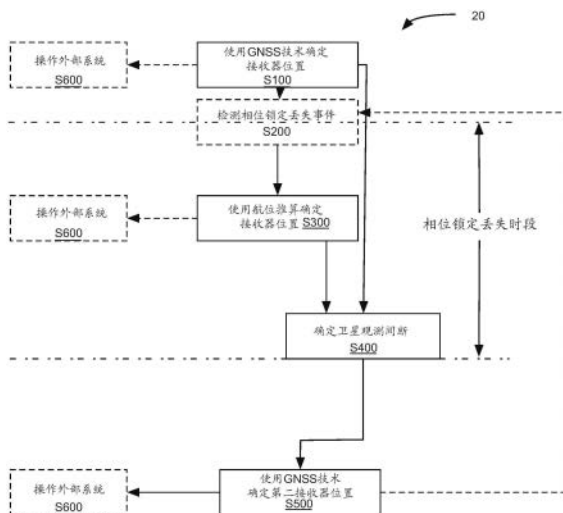
权利要求书2页 说明书15页 附图9页

(54) 发明名称

用于重新收敛GNSS位置估计的系统和方法

(57) 摘要

一种用于确定接收器位置的系统和方法可以包括:基于一组卫星观测结果来确定接收器位置;基于传感器测量结果来确定接收器位置;确定卫星观测中断;基于卫星观测中断,确定第二接收器位置。



1. 一种用于确定接收器位置的系统,包括:
定位引擎,所述定位引擎在与接收器并置的计算系统上执行,所述定位引擎包括:
 - 观测监视器,所述观测监视器被配置为从一组全球导航卫星接收一组卫星观测结果;
 - 整数固定模块,所述整数固定模块被配置为确定与所述一组全球导航卫星中的每个卫星相关联的整数值载波相位模糊度;
 - 重新收敛模块,所述重新收敛模块被配置为基于在相位锁定丢失时段期间获取的IMU数据和在所述相位锁定丢失时段之前确定的接收器位置来确定周跳;和位置滤波器,所述位置滤波器被配置为基于去除了相关联的整数值载波相位模糊度的卫星观测结果来估计所述接收器的位置;
其中,所述定位引擎能够以第一模式和第二模式操作,其中,所述第一模式和所述第二模式对应于不同的完整性级别,并且所述定位引擎在所述第一模式中在所述相位锁定丢失时段之后估计所述接收器的位置的重新收敛速度不同于在所述第二模式中的重新收敛速度。
2. 根据权利要求1所述的系统,还包括航位推算模块,所述航位推算模块被配置为基于所述相位锁定丢失时段期间的所述IMU数据确定所述接收器的位置。
3. 根据权利要求1所述的系统,其中,所述整数固定模块还被配置为使用多步骤验证过程来验证所述整数值载波相位模糊度;其中,所述接收器的估计的位置的完整性风险取决于所述多步骤验证过程的验证步骤。
4. 根据权利要求1所述的系统,其中,在所述相位锁定丢失时段之前,估计的位置的完整性风险至多为每小时 10^{-7} 。
5. 根据权利要求1所述的系统,其中,所述定位引擎在所述第一模式中的重新收敛时间在1秒内,并且其中,在所述第二模式中的重新收敛时间在2秒内。
6. 根据权利要求5所述的系统,其中,如由以所述第一模式操作的所述定位引擎确定的,在所述相位锁定丢失时段之后,所述接收器位置的完整性风险至多为每小时 10^{-4} ,并且其中,如由以所述第二模式操作的所述定位引擎确定的,在所述相位锁定丢失时段之后,所述接收器位置的完整性风险至多为每小时 10^{-7} 。
7. 根据权利要求5所述的系统,其中:
在所述第一模式中,使用包括至少两个卫星星座的卫星观测结果来验证所述周跳;并且
在所述第二模式中,使用与第一卫星星座相关联的卫星观测结果和使用与第二卫星星座相关联的卫星观测结果来独立地验证所述周跳。
8. 根据权利要求1所述的系统,其中,所述重新收敛模块通过以下方式确定所述周跳:
使用基于所述IMU数据确定的接收器位置和所述相位锁定丢失时段之前确定的接收器位置来估计当前载波相位;
确定所估计的载波相位与在所述相位锁定丢失时段之后获取的第二组卫星观测结果之间的残差;和
确定最接近所述残差的整数,其中,所述整数是所述周跳。
9. 根据权利要求1所述的系统,还包括与所述定位引擎通信的远程服务器,所述远程服务器包括:

参考站观测监视器,所述参考站观测监视器被配置为接收与一组参考站相关联的一组参考站观测结果;

建模引擎,所述建模引擎被配置为基于所述一组参考站观测结果来生成校正;和

可靠性引擎,所述可靠性引擎被配置为验证由所述建模引擎生成的所述校正;

其中,所述定位引擎基于经验证的校正来估计所述接收器的位置。

用于重新收敛GNSS位置估计的系统和方法

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求于2020年2月14日提交的第62/977,005号美国临时申请的利益,该美国临时申请通过本引用以其整体并入。

技术领域

[0003] 本发明总体上涉及卫星定位领域,并且更具体地,涉及卫星定位领域中一种新的和有利的系统和方法。

[0004] 背景

[0005] 全球导航卫星系统(GNSS)可以用于以高准确度和以高完整性(integrity)确定接收器的位置。通常,GNSS解决方案锁定到载波相位。然而,GNSS解决方案可能丢失锁定,例如,由于接收器动态和/或误差(例如,跟踪误差)。通常,在丢失锁定之后,接收器需要重新启动以重新收敛到接收器位置。重新启动计算和重新建立锁定可能需要很长时间,在此期间接收器位置未充分地已知(例如,已知,但完整性不足而无法使用)。因此,在卫星定位领域需要创建新的和有利的系统和方法。本发明提供了这种新的和有利的系统和方法。

[0006] 附图简述

[0007] 图1是系统的示意性表示。

[0008] 图2是定位引擎的示例的示意性表示。

[0009] 图3是方法的示意性表示。

[0010] 图4是方法示例的流程图表示。

[0011] 图5A和5B是测量引擎中断(outage)(例如,GNSS中断)之前、测量引擎中断期间、重新收敛期间和重新收敛之后的完整性风险(IR)和保护级别(PL)的示例的示意性表示。

[0012] 图6是在GNSS中断之后确定移动接收器位置的示例的示意性表示。

[0013] 图7是不同验证级别的示例的流程图表示。

[0014] 图8是方法的具体示例的示意性表示。

[0015] 图9A、图9B和图9C是确定在相位锁定丢失(phase-lock loss)持续时间期间发生的周跳(cycle slip)的示例的示意性表示。

[0016] 优选实施例的描述

[0017] 本发明的优选实施例的以下描述并不意欲将本发明限制到这些优选实施例,而是意欲使本领域中的任何技术人员能够制造并使用本发明。

[0018] 1. 概述

[0019] 如图1所示,系统可以包括一个或多个接收器、一个或多个传感器和计算系统。该系统可以可选地包括一个或多个参考站和/或任何合适的部件。计算系统可以包括:校正引擎、定位引擎和/或任何合适的部件。

[0020] 如图3所示,用于确定接收器位置的方法包括:使用GNSS技术确定接收器位置S100,使用航位推算(dead reckon)确定接收器位置S300,确定一个或多个卫星观测间断参数S400。该方法可以可选地包括检测相位锁定丢失事件S200,使用接收器位置来操作外

部系统S600和/或任何合适的步骤。

[0021] 该系统和/或方法的实施例优选地用于在相位锁定丢失事件发生后以高准确度和完整性快速确定接收器的位置。相位锁定丢失事件的示例包括：中断（例如，到接收器的功率损失、卫星故障等）、遮蔽事件（例如，部分和/或完全遮蔽，例如阻止接收器接收对应于一个或多个卫星的卫星信号）、阻塞、间断（interruption）、损坏的信息（例如，由卫星传输的）、失去连接（例如，到远程计算系统的连接）和/或导致无法使用GNSS信号确定接收器位置的任何事件。相位锁定丢失事件可以是离散事件和/或连续事件（例如，持续一段时间）。相位锁定丢失事件可以导致GNSS信号和/或GNSS接收器位置确定在相位锁定丢失时段内暂停。相位锁定丢失时段优选是短的（例如， $<1s$ ， $<2s$ ， $<5s$ ， $<10s$ ， $<20s$ ， $<30s$ ，等等），但是可以是任何持续时间（例如， $>30s$ ）。在一些示例中，相位锁定丢失时段可以被认为包括不同的部分。在如图5A和图5B所示的这些示例的具体变体中，相位锁定丢失时段可以包括卫星信号中断、遮蔽时间（例如，接收器在其期间无法获取卫星信号的时间）、重新获取时间（例如，接收器在其期间正在获取卫星信号的时间）和重新收敛时间（例如，从卫星信号确定接收器位置的处理时间）。然而，相位锁定丢失时段可以是统一的时间，和/或以任何合适的方式划分。

[0022] 所确定的接收器位置的准确度可以在1mm至10m内，例如是1cm、5cm、10cm、20cm、30cm、50cm、1m、2m、5m。然而，系统和方法可以实现小于1mm的准确度、大于10m的准确度和/或任何合适的准确度。

[0023] 所确定的接收器位置的完整性可以包括实时或近实时误差估计的概念（与后验误差计算相反）。基于这种实时误差估计，具有完整性的定位系统可以在定位误差有可能超过误差阈值时提供警报。描述定位系统完整性的参数可以包括：位置误差（PE）、完整性风险（例如，故障事件的概率的逆、位置误差在某个时间段内将超过某个阈值（警报限制）的概率等）、保护级别（PL）、警报限制（AL）、警报时间（TTA）、和/或任何合适的完整性参数。本文的完整性实例可以指一个或多个完整性参数和/或接收器位置的任何合适的完整性。实时或近实时误差估计可以在预定的估计时间（例如，100ms、1s、2s、3s、4s、5s、10s、20s、30s、45s、60s、90s、120s、180s、240s、300s、600s、其间的值等）内发生，“足够快以在导航期间使用”，和/或以任何合适的定时发生。

[0024] 接收器位置优选地以高完整性来确定，但是可以被确定为具有中等完整性、低完整性、取决于应用的完整性、取决于外部系统的完整性，可以在不确定完整性的情况下被确定和/或被确定为具有任何合适的完整性。例如，高完整性接收器位置可以具有在 $10^{-10}/hr$ 和 $10^{-2}/hr$ 之间（例如， $10^{-3}/hr$ 、 $10^{-4}/hr$ 、 $10^{-5}/hr$ 、 $10^{-6}/hr$ 、 $10^{-7}/hr$ 、 $10^{-8}/hr$ 、 $10^{-9}/hr$ 、或其间的值）的目标完整性风险（TIR）。然而，TIR可以大于 $10^{-2}/hr$ ，小于 $10^{-10}/hr$ ，和/或是任何合适的TIR。在第二示例中，高完整性接收器位置可以具有小于约10米（例如，至多5m、3m、2m、1m、75cm、50cm、40cm、30cm、25cm、20cm、10cm、5cm、3cm、1cm、5mm和/或1mm）的保护级别。然而，保护级别可以大于10米和/或是任何合适的值。然而，可以以其它方式指定高完整性接收器位置。

[0025] 在变体中，该系统和/或方法可以实现一个以上的完整性级别。不同的完整性级别可以对应于不同的准确度、完整性、收敛（和/或重新收敛）速度和/或任何合适的度量。在具体示例中，系统和/或方法可以包括两个级别（分别对应于完整性风险 $10^{-7}/小时$ 和 $10^{-4}/小$

时的高完整性级别和中等完整性级别)。在该示例中,高完整性级别可以在2秒内收敛,而中等完整性级别可以在1秒内收敛,但模式可以在任何合适的时间段内收敛。该系统可以选择要使用的完整性级别(例如,由外部系统选择,基于用例选择,基于接收器上下文(例如速度)选择,基于指定的目标完整性风险(TIR)选择,等等)或者具有预定的完整性级别。

[0026] 该技术的实施例可与外部系统400结合使用。例如,该技术的实施例可以耦合到外部系统和/或与外部系统集成。在具体示例中,外部系统可以包括无人驾驶飞行器(UAV)、无人驾驶航空系统(UAS)、自动驾驶汽车、农业设备、机器人、轨道运输系统、轨道交通系统、全球导航卫星系统(GNSS)研究、勘测系统和/或任何合适的外部系统。在这些实施例中,该技术可以用于(例如,作为输入来)控制外部系统的操作,用于外部系统引导(例如,确保外部系统在正确方向上行进)和/或用于任何合适的目的。

[0027] 2. 益处

[0028] 该技术的变型可以提供几个益处和/或优点。

[0029] 首先,该技术的变型能够在卫星信号中断后比其他GNSS技术更快地重新收敛到接收器位置。例如,在事件(例如,卫星信号中断、相位锁定丢失等)期间使用航位推算来估计接收器位置可以使该技术能够在事件结束后迅速重新收敛到接收器位置。在具体示例中,该方法通过利用中断期间估计的接收器位置(例如,航位推算位置;用于估计位置变化)和缓冲的连续载波信号集(例如,用于确定中断期间估计的载波相位位移)以协同确定周跳(例如,中断期间的整数模糊度跳变)来引导(bootstrap)重新收敛。在第二示例中,可以通过使用并行运行的多个验证器来实现短的重新收敛时间。

[0030] 第二,该技术的变型可以根据应用要求为接收器位置提供各种级别的完整性。在具体示例中,该技术可以将完整性确定为一个或多个完整性级别。在这些示例的变体中,不同级别可能需要不同的时间段来收敛(和/或重新收敛)。

[0031] 第三,该技术的变型可以为接收器位置的解决方案的完整性提供自洽(self-consistent)的检查。在具体示例中,该技术可以向不同的处理模块提供独立的数据集,并在这些处理模块之间比较结果。这种结果之间的比较可以用作接收器位置解决方案的完整性的内部验证。

[0032] 然而,该技术的变型可以赋予任何其他合适的益处和/或优点。

[0033] 3. 系统

[0034] 该系统优选地用于确定接收器的位置。特别地,系统可以用于(例如,在相位锁定丢失事件之后,在遮蔽事件之后,使用缓冲的接收器位置确定,等等)来重新确定接收器的位置,但是系统可以在任何合适的时间确定接收器位置。接收器的位置优选地在相位锁定丢失事件(例如,遮蔽事件)结束之后的预定时间内(例如,20s、10s、5s、2s、1s等内)重新确定,但是接收器的位置可以在任何合适的时间确定。重新收敛时间优选是短的(例如,<1s,<2s,<5s,<10s,<20s,等等),但是可以是任何合适的持续时间。

[0035] 该系统优选地使用由一个或多个数据源收集的一组数据。数据源可以包括:接收器、传感器(例如,位于接收器、外部系统、参考站等上)、数据库、卫星、参考站和/或任何其他合适的数据源。可以使用的数据示例包括:卫星观测结果、传感器观测结果、参考站观测结果和/或任何其他合适的的数据。

[0036] 接收器100(例如,GNSS接收器),天线优选地用于从一个或多个卫星接收一组卫

星观测结果(例如,卫星信号)。在变体中,接收器可以基于卫星观测结果来(例如,通过使用伪距,通过使用载波相位,通过使用代码数据等)确定接收器(例如,接收器天线、外部系统等)的位置。接收器优选地与计算系统通信。然而,接收器可以与计算系统集成,和/或接收器和计算系统可以以任何合适的方式布置。接收器优选地是独立设备(例如,GNSS接收器、天线)。然而,接收器可以集成到外部系统中(例如,作为汽车、飞行器、航海车辆等的部件),可以是用户设备(例如,智能手机、膝上型计算机、手机、智能手表等),和/或可以以任何合适的方式配置。

[0037] 该组卫星观测结果可以包括轨道数据、时间戳、距离变化率(range rate)数据、载波相位数据、伪距数据和/或任何合适的的数据。该组卫星观测结果可以与元数据(例如,星历)和/或任何合适的的数据相关联。该组卫星观测结果优选地包括对应于来自多于一个卫星星座(例如,全球定位系统(GPS)、全球导航卫星系统(GLONASS)、北斗定位系统(BDS)、伽利略(Galileo)等)的卫星的卫星观测结果。然而,该组卫星观测结果可以对应于来自单个卫星星座的卫星,可以包括来自增强系统(例如,星基增强系统(SBAS),例如广域增强系统(WAAS)、欧洲地球静止导航重叠服务(EGNOS)、多功能卫星增强系统(MSAS)、Omnistar、StarFire等;地基增强系统(GBAS),例如局域增强系统(LAAS);等)的数据,和/或可以包括任何合适的的数据。

[0038] 在包括多于一个接收器的系统的变体中,每个接收器可以被配置为接收与卫星星座、载波频率(例如,L1、L2、L5、E1、E5a、E5b、Eab、E6、G1、G3、B1、B2、B3、LEX等频率)相关联和/或对应于任何合适数据的卫星观测结果。

[0039] 传感器300优选地用于测量与外部系统(和/或GNSS接收器)相关联的传感器数据(例如,辅助数据)。传感器数据优选地用于(例如,独立于卫星观测结果)确定外部系统位置,但是可以附加地或可替代地用于辅助(例如,加速、校正、细化、收敛、重新收敛等)根据卫星观测结果的位置计算(例如,计算状态向量、估计相位模糊度)和/或以其他方式使用。传感器优选地与计算系统通信。传感器可以:板载(on-board)在外部系统上,板载在单独的外部系统上,集成到GNSS接收器中,与GNSS接收器分离,和/或以其他方式与接收器或外部系统相关联。传感器数据可以包括:惯性数据(例如,速度、加速度、角速度、角加速度等)、里程计(例如,轮速脉冲(wheel tick)、视觉里程计等)、姿态(例如,位置、取向)、映射数据(例如,图像、点云)、温度、压力、环境光和/或任何其他合适的的数据。传感器可以包括以下中的一项或更多项:惯性测量单元(IMU)、加速度计、陀螺仪、磁力计、里程表(例如,车轮速度;轮速脉冲;转向角;诸如摄像机的视觉里程表;等等)、压力传感器和/或任何合适的的传感器。

[0040] 系统可以包括多于一个GNSS接收器和/或传感器,该GNSS接收器和/或传感器可以用于提供冗余,在中断的情况下向GNSS接收器或传感器之一提供信息,提供数据源之间的验证和/或交叉检查,和/或以其它方式起作用。每个GNSS接收器之间(例如,每个GNSS接收器天线之间)、每个传感器之间和/或每个GNSS接收器/传感器对之间的相对姿态优选是已知的,但可以是未知的。

[0041] 计算系统200优选地用于:执行该方法的步骤(例如,如下所述);处理来自接收器、参考站和/或传感器的数据(例如,卫星观测结果);和/或可以以其他方式起作用。计算系统可以:聚合数据(例如,组合接收器卫星观测结果、参考站卫星观测结果和传感器数据;例如基于时间戳、传输时间、接收时间等重组接收器卫星观测结果、参考站卫星观测结果和传感

器数据;等等),过滤数据(例如,以计算与数据相关联的状态向量、模糊度(例如相位模糊度)等), (例如,基于模糊度)计算接收器位置,校正数据(例如,针对时钟误差、硬件偏差、大气效应等校正卫星观测结果),和/或可以以任何合适的方式处理数据。计算系统可以是本地的(例如,板载在外部系统上,集成在接收器中,与参考站集成,等等),远程的(例如,云计算、服务器、联网的,等等),和/或可以是分布式的。

[0042] 计算系统优选地通信地耦合到接收器、参考站和传感器,但是计算系统可以与任何合适的部件通信。在如图1所示的变体中,计算系统可以包括:校正引擎230、定位引擎260和/或任何合适的部件。在说明性示例中,校正引擎可以是远程计算系统(例如,服务器)的一部分,而定位引擎可以是本地计算系统的一部分(例如,集成在外部系统中,集成在GNSS接收器中,与GNSS接收器并置,等等)。然而,校正引擎和/或定位引擎可以以其他方式分布。

[0043] 校正引擎用于生成将由定位引擎(和/或GNSS接收器)使用的校正(例如,校正数据)和/或用于确定校正的可靠性(例如,验证校正)。校正优选地用于提高所估计的位置和/或速度的准确度和/或完整性。校正可以采取PPP校正、RTK校正、星基增强系统(SBAS)校正或任何其他类型的校正的形式。校正可以用于校正卫星观测结果(例如,如由GNSS接收器所测量的),促进(例如,通过载波相位确定模块)进行载波相位确定,促进(例如,在异常值检测器处的)异常值检测,促进预定事件的确定,和/或以任何合适的方式被使用。

[0044] 在具体示例中,校正引擎可以以如在第17/022,924号美国专利申请中描述的方式操作,该美国专利申请在2020年9月16日提交并且标题为“SYSTEMS AND METHODS FOR HIGH-INTEGRITY SATELLITE POSITIONING”,其通过本引用以其整体并入。然而,校正引擎可以以任何方式操作。

[0045] 定位引擎260用于估计GNSS接收器和/或耦合到GNSS接收器的外部系统的位置。定位引擎优选地将来自接收器(或其他GNSS数据源)的卫星观测结果(例如,多组卫星观测结果)和来自校正处理引擎的校正(例如,校正数据)作为输入,以生成估计位置(例如,位置数据)。然而,定位引擎可以附加地或可替代地获取传感器数据、参考站观测结果、来自其他GNSS接收器的卫星观测结果和/或任何数据或信息输入。定位引擎优选地输出估计位置和估计位置的完整性(例如,保护限制、完整性风险等)。然而,定位引擎可以附加地或可替代地输出航位推算位置(例如,从传感器数据导出的GNSS接收器和/或外部系统的位置)、传感器偏差和/或任何合适的的数据。定位引擎优选地通信地耦合到GNSS接收器、校正处理引擎和传感器,但是可以附加地或可替代地通信地耦合到参考站和/或任何合适的部件。

[0046] 在定位引擎的一些变体中,定位引擎可以以两种或更多种模式操作。定位引擎可以同时以这些模式操作,或者可以每次以单个模式操作。这些模式可以包括:GNSS定位模式、航位推算定位模式、高完整性模式、中等完整性模式、低完整性模式、完整性未指定模式和/或任何合适的模式。在如图7所示的说明性示例中,定位引擎可以同时以高完整性模式和低完整性模式操作。在高完整性模式中,定位引擎可以用于尝试在相位锁定丢失事件之后(例如,基于在相位锁定丢失时段期间获取的传感器数据)实现高完整性(例如, $TIR < 10^{-7}/hr$, PL约为3m等),并且在低完整性模式中,定位引擎可以用于尝试在相位锁定丢失事件之后(例如,基于在相位锁定丢失时段期间获取的传感器数据)实现低完整性(例如, $TIR < 10^{-4}/hr$, PL约为1m等)。在该具体示例中,当两个条件都未实现时,定位引擎可以重新确定GNSS接收器位置(例如,不利用在相位锁定丢失持续时间期间获取的传感器数据)。然而,定

位引擎可能能够以任何合适的模式操作。

[0047] 在如图2所示的具体示例中,定位引擎可以包括:观测模块261(例如,观测监视器,其例如用于检查卫星观测结果是否有潜在的预定事件和/或异常值)、载波相位确定模块262(例如,其用于确定与卫星观测结果相关联的载波相位模糊度)、重新收敛模块266(例如,其用于基于传感器数据确定或估计周跳、多径误差、或者在相位锁定丢失事件期间发生的其他预定事件)、异常值检测器268(例如,其用于检测卫星观测结果中的异常值、减轻卫星观测结果中异常值的效应,等等)、位置模块267(例如固定整数位置滤波器,其用于基于卫星观测结果(例如基于去除了载波相位模糊度的卫星观测结果)来确定接收器位置和/或相关联的完整性)、速度模块(例如,其用于基于卫星观测结果、时间差分(time differenced)载波相位测量结果、多普勒频移数据、伪距、差分估计位置等来确定接收器速度)、航位推算模块269(例如,其用于基于传感器数据来确定GNSS接收器和/或外部系统位置和/或速度)、和/或任何合适的模块。然而,一个或更多个模块可以彼此集成和/或定位引擎可以包括任何合适的模块。

[0048] 在具体示例中,定位引擎(和/或其部件)可以以如在第17/022,924号美国专利申请中描述的方式操作,该美国专利申请在2020年9月16日提交并且标题为“Systems and Methods for High-Integrity Satellite Positioning”,其通过本引用以其整体并入。然而,校正引擎可以以任何方式操作。

[0049] 4. 方法

[0050] 如图3所示,用于确定接收器位置的方法包括:使用GNSS技术确定接收器位置S100,使用航位推算确定接收器位置S300,确定一个或更多个卫星观测中断参数S400,以及确定接收器位置S500。该方法可以可选地包括检测相位锁定丢失事件S200,使用接收器位置来操作外部系统S600、和/或任何合适的步骤。通常但并非总是,S100在相位锁定丢失事件发生之前执行,S300和S400在相位锁定丢失时段期间执行,而S500在相位锁定丢失时段结束之后执行。然而,可以在相对于相位锁定丢失事件或时段的任何合适的时间执行这些步骤。该方法优选迭代地执行(例如,每当发生相位锁定丢失事件时重复),但是可以连续地执行,间歇地执行(例如,响应用于接收器位置确定的触发、呼叫等;以每1s、5s、10s、20s等的预定定时;每次从数据源接收到信号时;等等),执行一次,随机地执行和/或以任何合适的频率和/或定时执行。方法迭代的次数可以是相位锁定丢失事件的预定次数(例如,最大为每小时1次、2次、5次、10次、20次、30次、50次、100次、200次、300次、500次、1000次、2000次、3000次、3600次等)、无限的次数、和/或具有任何合适的迭代次数。方法可以被执行的迭代次数可以取决于目标完整性(例如,目标完整性风险、目标保护级别等)、应用、外部系统、目标准确度、重新收敛时间、相位锁定丢失持续时间和/或任何合适的信息。在方法已经执行了多次迭代之后,该方法可以在相位锁定丢失事件已经结束之后重复S100,而不是进行到S500和/或该方法可以在该多次迭代之后以其他方式操作。

[0051] 该方法用于基于一组或更多组卫星观测结果来确定接收器(例如,耦合到接收器的外部系统)的位置。该方法优选地确定接收器的位置和/或用于在相位锁定丢失事件之后快速(例如,<30s,<20s,<10s,<5s,<2s,<1s等)确定接收器的位置的一个或更多个中间值(例如,状态向量)。然而,该方法可以以任何合适的定时确定接收器位置。方法的一个或更多个实例和/或方法的步骤可以串联和/或并行地(例如,同时)执行。

[0052] 使用GNSS技术确定接收器位置S100优选地用于基于一组卫星观测结果计算接收器(和/或外部系统)的位置。S100优选地将接收器位置确定为具有高准确度和完整性(例如,完整性风险 $<10^{-7}/\text{hr}$, $<10^{-6}/\text{hr}$, $<10^{-5}/\text{hr}$, $<10^{-4}/\text{hr}$, $>10^{-3}/\text{hr}$ 等;准确度 $<1\text{cm}$, $<10\text{cm}$, $<50\text{cm}$, $<1\text{m}$, $<10\text{m}$ 等;等等)。S100优选地由计算系统(例如,计算系统的定位引擎)执行;然而,S100可以附加地和/或可替代地由接收器、参考站和/或由任何合适的部件执行。

[0053] S100优选地包括存储一个或多个接收器位置、载波信号数据(例如,每个信号的载波相位测量结果)、相应的固定整数载波相位模糊度和/或针对每个时间戳、周期(epoch)和/或其他采样基础的任何其他合适的的数据。数据可以:被无限期地存储,被存储直到确定新的接收器位置,被存储直到相位锁定丢失事件,被存储直到重新收敛(例如,在相位锁定丢失事件期间或之后),被存储预定的时间段(例如,10s、30s、1min、2min、5min、10min、30min、1hr、2hr、4hr、8hr、12hr、24hr等),被存储直到响应于从数据源接收的数据而重新获取信号,只要数据源保持在视域中就被存储,和/或存储任何合适的时间段。

[0054] 在具体示例中,S100可以包括:接收卫星观测结果S120,接收GNSS校正S140,确定相位模糊度S160,以及计算接收器位置S180。然而,S100可以包括任何合适的步骤。在相关示例中,S100可以根据在第9,933,528号美国专利申请和在第10,473,790号美国专利中公开的方法来确定接收器位置,第9,933,528号美国专利申请的标题为“SYSTEMS AND METHODS FOR REAL TIME KINEMATIC SATELLITE POSITIONING”并且在2015年2月12日提交,第10,473,790号美国专利标题为“SYSTEMS AND METHODS FOR DISTRIBUTED DENSE NETWORK PROCESSING OF SATELLITE POSITIONING DATA”并且在2018年11月19日提交,这两者中的每一者通过本引用以其整体并入本文。

[0055] 接收一个或多个卫星观测结果S120优选地用于(例如,在接收器、在参考站等处)测量和/或访问来自一个或多个被观测卫星的一组或更多组卫星观测结果(例如,载波相位测量结果、伪距测量结果、代码测量结果等)。卫星观测结果可以由接收器测量和/或接收,从数据库中检索(例如,检索存储的卫星观测结果;检索存储的校正;检索诸如天气状况、潮汐等的历书;等等)和/或以其他方式接收。S120可以包括接收多普勒测量数据、传感器数据和/或任何合适的的数据。卫星观测结果可以包括来自一个或多个卫星星座的信号。S120可以包括检测卫星观测结果中的一个或多个预定事件。S120可以由(例如,定位引擎的)观测监视器261和/或由任何合适的部件执行。

[0056] (例如,在S140中接收的)GNSS校正优选地由校正引擎(例如,由计算系统的校正引擎;基于参考站观测结果,基于历书数据,基于模型,等等)确定,但是可以由定位引擎(例如,其中定位引擎接收数据以生成校正)、接收器和/或由任何合适的部件确定。可以响应于以下项来应用校正(例如,用于校正):硬件偏差、定时误差(例如,卫星时钟、接收器时钟、参考站时钟等)、大气效应(例如,电离层影响、对流层影响)、相对论效应、局部效应(例如,多径误差)、全局效应、噪声(例如,异常值)和/或任何合适的效应。在具体示例中,参考站卫星观测结果可以用于(例如通过计算双差分卫星观测结果)来校正接收器卫星观测结果。在第二示例中,可以将对卫星观测结果的效应(例如大气效应)进行建模。基于该模型,可以对卫星观测结果进行校正。然而,校正卫星观测结果可以以任何合适的方式执行。

[0057] S160可以包括:确定一组浮动相位模糊度假设,从该组浮动相位模糊度假设确定一组整数相位模糊度假设,验证该组整数相位模糊度假设,和/或任何合适的步骤。S160可

以由(例如,定位引擎的)载波相位检测模块监视器和/或由任何合适的部件执行。在说明性示例中,S160可以包括如在第16/685,927号美国专利和/或第16/817,196号美国专利中公开的步骤和/或如在这两个美国专利申请中公开的那样执行,第16/685,927号美国专利申请于2019年11月15日提交,标题为“SYSTEM AND METHOD FOR SATELLITE POSITIONING”,第16/817,196号美国专利申请于2020年3月12日提交,标题为“SYSTEMS AND METHODS FOR REAL TIME KINEMATIC SATELLITE POSITIONING”,这两个美国专利申请中的每一个通过本引用以其整体并入。

[0058] 优选地使用滤波器(例如,浮动滤波器263)来确定该组浮动相位模糊度假设。滤波器优选是卡尔曼滤波器(Kalman filter)。然而,滤波器可以是扩展的卡尔曼滤波器、无迹卡尔曼滤波器、比尔曼-桑顿(Bierman-Thornton)滤波器、粒子滤波器、蒙特卡罗(Monte Carlo)模拟和/或任何合适的均方误差滤波器和/或传感器融合算法。然而,该组浮动相位模糊度假设可以以其它方式确定。

[0059] 确定该组整数相位模糊度假设可以包括降低该组相位模糊度(例如,浮动相位模糊度假设)的模糊度之间的相关性,以及执行搜索(例如,最小二乘搜索、绝对值搜索等)以识别要包括在该组整数相位模糊度假设中的可能的整数相位模糊度。例如,最小二乘模糊度解相关调整(LAMBDA)算法、修改的LAMBDA(MLAMBDA)算法、LLL约简算法、白化变换、着色变换、解相关变换、四舍五入、模糊度函数方法(AFM)、快速模糊度解算方法(FARA)、最小二乘模糊度搜索技术(LSAST)、整数引导(integer bootstrap)和/或任何合适的解相关或约简算法可以用于固定(fix)和/或识别整数相位模糊度。该组整数相位模糊度假设优选地包括满足假设准则的整数相位模糊度,但是可以包括任何合适的整数相位模糊度。假设准则的示例包括最小二乘的阈值和、绝对差的阈值和、正确解的阈值似然性和/或任何合适的准则。该组整数相位模糊度假设可以由整数固定模块264或任何合适的模块或部件确定。然而,该组整数相位模糊度假设可以以任何方式生成。

[0060] 验证整数载波相位模糊度用于确定关于最有可能是正确的整数载波相位模糊度和/或确定的接收器位置的完整性分数和/或确定(例如,选择、识别)最有可能是正确的整数载波相位模糊度和/或确定的接收器位置。整数载波相位模糊度可以在位置域中、在测量结果域中和/或任何其他合适的域中被验证。

[0061] 在第一变体中,验证整数载波相位模糊度可以包括执行假设检验。假设检验优选地是贝叶斯推断,但是可以附加地或可替代地基于统计置信度、显著性检验和/或任何合适的假设检验。假设检验的示例可以包括差异检验、比率检验、投影仪检验、f-检验、GIA检验和/或任何合适的假设检验。在说明性示例中,执行假设检验可以包括:确定与整数相位模糊度假设的整数相位模糊度的子集相关联的概率(例如,似然性、对数似然性等);计算整数相位模糊度的两个子集(例如,在相同模糊度集内,跨不同模糊度集)之间的概率比率;当整数相位模糊度的最可能子集和下一个最可能子集之间的比率超过阈值时,将整数相位模糊度的最可能子集存储为整数相位模糊度,并停止假设检验。然而,任何假设检验都可以被执行。通过假设检验的载波相位模糊度可以被称为经验证的载波相位模糊度。

[0062] 在第二变体中,验证整数载波相位模糊度可以包括在多步骤处理中验证载波相位模糊度。例如,在第一步中,至少两个卫星星座(例如,GPS和伽利略(Galileo)、GPS和GLONASS、GPS和BDS、伽利略和GLONASS、伽利略和BDS、GLONASS和BDS等)的整数模糊度可以

(例如,通过组合来自每个卫星星座的数据)同时验证。在第二步骤中,整数载波相位模糊度可以独立于与卫星观测结果的第二子集(例如,其与第二卫星星座相关联)相对应的这些卫星观测结果来(并行或顺序地)验证与卫星观测结果的第一子集(例如,其与第一卫星星座相关联)相对应的卫星观测结果。第三步骤可以包括将第二步骤重复附加的一次或更多次(例如,2x、3x、5x、10x、20x等)。然而,在第一步骤、第二步骤和/或第三步骤中,对应于三个或更多个卫星星座的整数值载波相位模糊度、一个或更多个卫星星座内的卫星子集(例如,验证来自单个卫星星座的每个卫星的卫星观测结果的整数值载波相位值,验证对应于单个卫星星座的第一卫星子集和第二卫星子集的卫星观测结果的整数值载波相位值,验证来自多个卫星星座的每个卫星的卫星观测结果的整数值载波相位值,等等),和/或任何合适的卫星观测结果可以被验证和/或验证任何合适的次数。然而,多步骤验证过程可以以其它方式被执行。

[0063] 在第三变体中,载波相位模糊度可以如在第17/119,823号美国专利申请中公开的那样被验证,该美国专利申请于2020年12月11日提交,标题为“SYSTEM AND METHOD FOR VALIDATING GNSS AMBIGUITIES”,其通过本引用以其整体并入。

[0064] 在第四变体中,载波相位模糊度可以通过组合两个或更多个先前变体来验证。载波相位模糊度优选地使用验证模块265来验证,但是可以使用任何合适的模块来验证。然而,载波相位模糊度可以以其他方式来验证。

[0065] 优选地根据测量模型(例如,在S180中)计算接收器位置(例如,在相位锁定丢失之前)。S180可以由(例如,定位引擎的)位置模块267和/或由任何合适的部件来执行。在说明性示例中,测量模型可以是:

$$[0066] \quad \lambda\varphi_j^i(t) = r_t + \delta t^i + \delta t_j - I + \lambda N_j^i(t) + \varepsilon_\varphi$$

[0067] 其中 λ 是信号的波长(例如,L1、L2、L5、E1、E2、E5a、E5b、E6、G1、G3等波长;诸如L1-L2、L1-L5、G1-G3等的差分波长;窄通道波长;等等), $\varphi_j^i(t)$ 是接收器j在时间t与卫星i相对应的相位, r 是接收器和卫星i之间的距离, δt^i 是卫星i的时钟误差, δt_j 是接收器j的时钟误差,I包括大气效应(例如,电离层、对流层等), $N_j^i(t)$ 是与卫星i和接收器j相对应的整数相位模糊度,并且 ε_φ 是噪声。然而,测量模型可以包括更多项、更少项和/或不同项。然而,可以使用任何合适的测量模型和/或可以以其他方式计算接收器位置。

[0068] 在一些实施例中,S100可以包括确定接收器的速度和/或与接收器的速度相关联的完整性。速度可以基于卫星观测结果、时间差分载波相位测量结果、多普勒频移数据、伪距、差分估计位置来确定,和/或以其他方式确定。速度和/或速度的完整性优选地使用速度滤波器来确定,但是可以使用位置模块267、航位推算模块269或任何合适的部件来确定。

[0069] 在具体示例中,接收器的位置可以如在第17/022,924号美国专利申请中公开的那样来确定,该美国专利申请于2020年9月16日提交,标题为“SYSTEMS AND METHODS FOR HIGH-INTEGRITY SATELLITE POSITIONING”,其通过本引用以其整体并入。然而,可以以任何方式执行S100。

[0070] 检测相位锁定丢失事件S200可以用于确定已经发生了相位锁定丢失事件。可以在S100之前、期间和/或之后执行S200。S200优选地在以高完整性确定接收器位置之后发生,

但是S200可以在以高完整性知道接收器位置之前发生。S200可以由单频周跳检测器、双频周跳检测器、三频周跳检测器、(例如,定位引擎的)异常值检测器268、接收器、参考站执行和/或由任何合适的模块或部件来执行。例如,S200可以包括:确定未检测到对应于一个或更多个卫星(和/或卫星星座)的一个或更多个卫星信号,确定功率状态已经改变(例如,停电、功率浪涌等),确定一个或更多个卫星信号不完整,确定网络连接已经改变(例如,低带宽、断开连接等),和/或任何合适的步骤。

[0071] 在变体中,S200可以包括:可选地识别相位锁定丢失事件的来源(例如,阻碍(例如阻碍的原因)、电力故障等),存储相位锁定丢失事件的位置(例如,存储在地图上,例如,以识别可以预测发生相位锁定丢失的位置),检测相位锁定丢失事件的来源不再存在(例如,卫星不再被阻碍,恢复正常功率等),和/或可以包括任何合适的步骤。

[0072] 基于航位推算确定接收器位置S300优选地用于当GNSS定位不可用时(例如,在相位锁定丢失时段期间,如图5A和5B中所示的示例等)确定(例如,计算、估计、建模等)接收器位置(和相关联的协方差)。然而,当GNSS定位可用时可以执行S300(例如,以通过将GNSS位置的结果与来自航位推算的结果进行比较来估计传感器偏差;以在确定接收器位置时提供冗余;等等)和/或可以以任何合适的定时执行S300。S300优选地由计算系统(例如,定位引擎的航位推算模块、由辅助定位系统等)执行,但是可以由接收器、传感器和/或任何合适的部件执行。S300可以在S100或S200之后、之前和/或期间(例如,响应于S200,与S100并行等)执行。优选地至少在相位锁定丢失时段的持续时间内(例如,遮蔽时间、重新获取时间、重新收敛时间等)执行S300。然而,附加地或可替代地,S300可以连续地(例如,在接收器的操作期间,在外部系统的操作期间),在相位锁定丢失事件之前,在相位锁定丢失事件之后,与S100(和/或S500)同时和/或在任何合适的时间执行。S300优选地被隔离使用(例如,不同时生成GNSS位置估计)至多20秒(例如,1s、2s、3s、4s、5s、7s、10s、15s等),但S300可以被使用长于20秒(例如,在接收器的视域中保留阈值数量的卫星的部分遮蔽事件期间)。

[0073] 在S300中确定的接收器位置通常具有中等完整性级别(对于相位锁定丢失持续时间,例如 $TIR < 10^{-4}$ /小时和/或PL约为5),但可以具有高完整性、低完整性、未知完整性和/或任何合适的完整性。通常,但不总是,当在S300中确定的接收器位置的完整性低于阈值完整性(例如, $TIR > 10^{-4}$ /小时)时,重新启动该方法(例如,一旦卫星观测结果变得可用,则从S100开始)。

[0074] S300可以使用任何合适的航位推算技术和/或其组合来确定接收器位置。在一系列示例中,S300可以使用视觉里程计、视觉惯性里程计、惯性测量结果(例如,速度、加速度、旋转速度等)的积分、机械里程计(例如,车轮里程计、电机里程计)、LIDAR和/或可以使用的任何合适的航位推算技术。S300中的接收器位置可以基于以下项来确定:先前接收器位置(例如,从GNSS确定的接收器位置、相位锁定丢失事件之前的最后的接收器位置、在S100中确定的接收器位置等)、传感器数据(例如,图像、LIDAR、IMU数据、速度(speed)、方向、速度(velocity)、加速度等)、传感器偏差(例如,建模的、估计的等)和/或任何合适的数据输入。接收器位置可以使用以下项来确定:方程(例如,其中根据传感器数据计算的位置变化被添加到先前位置);滤波器(例如,将当前位置估计为隐藏状态的卡尔曼滤波器或贝叶斯滤波器);和/或任何其他合适的方法。S300中的接收器位置可以包括接收器位置中的估计误差(例如,不确定性)。

[0075] 在一些实施例中,S300可以附加地或可替代地包括基于传感器测量结果来确定接收器的速度和/或与速度相关联的完整性。

[0076] 在变体中,该方法可以包括确定GNSS中断已经结束S250。S250优选地用于确定GNSS中断的来源已经被解决(例如,卫星从接收器来看不再被遮蔽,参考站从接收器来看不再被遮蔽,电力被恢复,网络连接恢复等)。可以以与S200相同和/或不同的方式(例如,以相反的方式)执行S250。S250优选地在S300期间发生,但S250可以在S300之前和/或之后发生。

[0077] 确定一个或更多个卫星观测中断S400用于估计卫星观测中断,以促进使用GNSS技术确定当前或更新的接收器位置(例如,用于在S500中使用)。卫星观测中断优选地是指周跳(例如,载波相位模糊度的跳变或变化通常为整数值,如图6中的示例所示;也称为整数模糊度跳变),但可以附加地或可替代地是指范围中断、代码中断、多径误差和/或任何合适的中断。可以在相位锁定丢失持续时间期间或之后执行S400。例如,S400可以在相位锁定丢失持续时间的重新收敛时间期间(例如,在中断后接收到载波相位信号的一个或更多个周期之后)执行。S400可以由重新收敛模块(例如,定位引擎的重新收敛模块、重新收敛模块的残差滤波器等)和/或由任何合适的模块或部件执行。然而,S400可以以任何定时被执行。

[0078] S400可以在重新获得相位锁定之后但在使用所得到的位置估计之前在一个或更多个采样周期内执行(例如,在连续的周期内迭代地执行直到完整性达到预定阈值),或者以其他方式使用。S400优选地由计算系统(例如,定位引擎,诸如重新收敛模块266、载波相位模糊度模块262或定位引擎的其他合适的模块)执行,但可以由接收器、传感器和/或任何合适的部件执行。

[0079] 卫星观测中断优选地在测量域中确定,但是可以在位置域中、在混合域或域的混合中和/或在任何合适的域中确定。可以针对以下项来确定卫星观测中断:与一组卫星观测结果中的观测结果相关联的所有卫星、在相位锁定丢失持续时间期间丢失信号的一组卫星、与特定卫星星座相关联的卫星、在相位锁定丢失持续时间期间没有丢失信号的一组卫星和/或任何合适的卫星。卫星观测中断可以基于以下项来确定:当前载波相位测量结果、估计的载波相位(例如,从传感器数据估计、从当前接收器位置与相位锁定丢失时段之前的接收器位置之间的变化估计,等等)、当前接收器位置(例如,相对于相位锁定丢失时段之前的接收器位置使用航位推算确定,从卫星观测结果估计,等等)、先前接收器位置(例如,相位锁定丢失时段之前)、卫星代码数据、卫星伪距数据,和/或可以使用任何合适的的数据或信息来确定。

[0080] 一般而言,来自一组卫星中至少一个卫星(且优选多于一个卫星)的信号在相位锁定丢失持续时间期间优选不丢失。然而,在相位锁定丢失持续时间期间,不同的卫星可以各自可用(例如,可以在第一时间段内从第一卫星接收信号,可以从第二时间段接收信号,以此类推,其中不同的时间段优选地但不一定重叠),和/或可能(在相位锁定丢失持续时间的全部或一部分内)丢失来自所有卫星的信号。当来自至少一个卫星的信号没有丢失时,该卫星可用作参考卫星,例如以估计(并且从而校正或以其他方式考虑)一个或更多个状态(例如,其可以包括轨道误差、时钟误差、大气误差、接收器位置等),确定估计的载波相位中断,计算整数载波相位模糊度,和/或以其他方式被使用。例如,来自连续相位锁定卫星的相位观测结果可以用于确定新状态(例如,全局或共享误差,诸如时钟误差、轨道误差等),该新状态可以用于在确定丢失了相位锁定的卫星的整数模糊度时减小残差方差。当在相位锁定

丢失持续时间期间没有卫星可用时,则S400可以包括约束误差(例如,时钟、轨道、大气等误差),对误差建模,基于其他数据源估计误差、计算不同的周跳(例如,基于差分的卫星信号),使用不同的重新收敛方法(例如,不使用航位推算来引导重新收敛)和/或以其他方式执行计算和/或验证。

[0081] S400优选地包括基于(例如,如在S300中确定的)航位推算位置确定卫星观测间断和验证卫星观测间断。然而,S400可以包括任何合适的步骤。

[0082] 优选地在不紧密耦合航位推算位置和卫星观测结果(例如,不向计算卫星观测间断的滤波器提供航位推算位置和/或底层传感器测量结果和卫星观测结果)的情况下确定卫星观测间断。然而,卫星观测间断可以使用紧密耦合模型和/或使用任何合适的模型来确定。

[0083] 确定卫星观测间断可以包括确定估计的载波相位和测量的载波相位之间的残差、不同估计的接收器位置之间的残差、估计的浮动模糊度和测量的浮动模糊度之间的残差和/或其他残差。残差可以是卫星观测间断(和/或例如根据方程与卫星观测间断相关)。例如,估计的载波相位和测量的载波相位之间的残差(或相关联的浮动载波模糊度)可以用作周跳估计。残差优选四舍五入到最接近的整数;然而,可以对残差执行整数搜索,可以在不四舍五入的情况下使用残差,和/或可以以其他方式使用残差。残差可以基于以下项来确定:估计的载波相位、测量的载波相位、新状态、设计矩阵和/或任何其他合适的信息。

[0084] 在第一变体中,如图9A所示,确定卫星观测间断可以包括:使用测量模型从当前接收器位置(例如,使用航位推算诸如从S300确定)、当前接收器位置的协方差、先前接收器位置(例如,使用GNSS技术诸如从S100确定)和/或先前载波相位测量结果来估计当前载波相位。

[0085] 在第二变体中,如图9B所示,确定卫星观测间断可以包括:确定当前接收器位置(例如,使用航位推算,诸如从S300确定),以及使用测量模型基于先前载波相位测量结果(来自相位锁定丢失事件之前)和当前载波相位测量结果(例如,来自相位锁定丢失持续时间之后)之间的差来估计当前接收器位置。附加地或可替代地,除了从航位推算确定的当前接收器位置之外和/或代替从航位推算确定的当前接收器位置,还可以使用从辅助卫星(其在相位锁定丢失持续时间期间可用)确定的当前位置。

[0086] 在第三变体中,如图9C所示,确定卫星观测间断可以包括:估计使用航位推算确定的载波相位(例如,如第一变体中所述)和测量的载波相位之间的载波相位差,以及确定当前测量的载波相位和在相位锁定丢失事件之前测量的载波相位之间的载波相位差。

[0087] 在具体示例中,卫星观测间断可以通过计算相位观测结果具有可能周跳的先验残差来确定,该计算是通过以下方式:处理与在相位锁定丢失持续时间期间未丢失相位锁定的卫星相关联的卫星观测结果(例如,编码和载波相位),并基于新状态(例如,从以下项确定和/或包括以下项:与未丢失信号的卫星相关联的处理的卫星观测结果、接收器的当前位置、在相位锁定丢失期间接收器位置的变化、相位锁定丢失之前的卫星观测结果等)和设计矩阵确定(例如,计算、估计)丢失相位锁定的一组卫星的残差。

[0088] 然而,卫星观测间断可以以其它方式来确定。

[0089] 验证卫星观测间断可以包括:对确定的卫星观测间断执行统计分析或统计检验,将残差与阈值进行比较,将残差周围的协方差与阈值进行比较,将周跳方差与阈值进行比

较,将估计的卫星观测间断与来自未丢失相位锁定的卫星(例如,未经历中断的卫星)的卫星载波相位模糊度进行比较,将独立(或依赖)生成的卫星观测间断(例如,与卫星相关联的卫星观测间断的两个独立生成的估计)进行比较,对卫星观测间断进行建模,将估计的卫星载波相位与测量的卫星载波相位进行比较,将残差方差与阈值进行比较,和/或以其他方式进行验证。

[0090] 在一些实施例中,特别是但不排他地,当定位引擎以高完整性模式操作和/或要在步骤S500中实现高完整性接收器位置时,可以针对卫星观测结果的子集独立地验证卫星观测间断。例如,可以针对第一卫星星座(例如, GPS) 和第二卫星星座(例如, 伽利略) 独立地验证周跳。然而,卫星观测结果的子集可以包括任何合适的卫星(例如, GPS卫星的第一子集和第二子集) 和/或任何合适的卫星星座。

[0091] 在第一变体中,当残差(例如,残差与最接近的整数之间的差)充分接近于零(例如,残差和整数之间的距离小于阈值,阈值例如是 $1/2$ 、 $1/3$ 、 $1/4$ 、 $1/5$ 、 $1/6$ 、 $1/8$ 、 $1/10$ 、 $1/20$ 、 $1/50$ 、 $1/100$ 、 $<1/100$ 、它们之间的值等)时,可以验证卫星观测间断。例如,当残差(例如,残差的非整数部分、差等)小于残差标准偏差(或方差)的倍数(例如, $1x$ 、 $2x$ 、 $3x$ 等)时,残差可以充分接近于零。第一变体可以用于确保残差是卫星观测间断,例如周跳(例如,与另一类型的异常值相对),但是可以以其它方式起作用。

[0092] 在第二变体中,当残差的标准偏差小于阈值标准偏差(例如, 0.2 、 0.3 、 0.5 、 0.7 等)时,则可以验证卫星观测间断。例如,阈值标准偏差可以是1个周期长度,例如一个周期长度的 $1/2$ 、 $1/3$ 、 $1/4$ 、 $1/5$ 、 $1/6$ 、 $1/8$ 、 $1/10$ 、 $1/20$ 、 $1/50$ 、 $1/100$ 、 $<1/100$ 或它们之间的值。第二变体可以用于正确选择周跳(例如,整数模糊度跳变的正确值或实际值),和/或以其它方式起作用。

[0093] 在第一变体和第二变体中,阈值可以是固定的(例如,独立于定位引擎模式),取决于定位引擎模式的(例如,更高完整性模式具有更紧密或更小的阈值),取决于目标接收器位置完整性(在重新收敛之后,在相位锁定丢失之后,等等),和/或以其他方式确定。

[0094] 然而,卫星观测间断可以以其他方法来验证。

[0095] 通常,向S500提供验证的卫星观测间断,其中验证的卫星观测间断可以用于确定接收器位置。然而,未验证的卫星观测间断可以附加地或可替代地提供给S500(例如,其中未验证的卫星观测间断可以用于确定接收器位置)。

[0096] 当卫星观测间断未被验证时,可以重新启动该方法(例如,重新启动S100),可以(例如,使用相同的输入数据,使用不同的输入数据,使用相同的方法,使用不同的方法,等等)确定附加的卫星观测间断,和/或可以发生任何合适的响应。

[0097] 基于GNSS技术确定第二接收器位置S500优选地用于使用GNSS数据(例如,卫星信号、参考站信号等)确定接收器位置。S500优选地发生在相位锁定丢失时段已经结束之后(例如,在遮蔽时间之后、在重新获取时间之后、在GNSS中断时段之后,等等),但是可以在任何合适的定时发生。S500优选地由计算系统(例如,定位引擎)执行,但是可以由接收器和/或任何合适的部件执行。

[0098] S500优选地如在S100中所描述的那样执行,而不(例如,如在S160中所描述的那样)解算载波相位模糊度(例如,因为载波相位模糊度可以根据如在S400中所确定的卫星观测间断来确定)。然而,S500可以以与S100中所描述的方式相同的方式执行,如S100中所描

述的那样执行而不验证或固定载波相位模糊度,以与S100中所描述的方式不同的方式执行和/或以任何方式来执行。

[0099] 在说明性示例中,S500可以包括接收一组卫星观测结果(例如,用于确定卫星观测间断的一组卫星观测结果、在已经确定卫星观测间断之后接收的一组卫星观测结果、在重新收敛之后确定的一组卫星观测结果等),修改该组卫星观测结果以考虑卫星观测间断(例如,如在S400中确定的,如在S400中验证的,等等),以及使用测量模型来计算接收器位置。然而,测量模型可以被修改以考虑卫星观测间断(例如,而不是修改卫星观测结果)和/或接收器位置可以以其它方式来确定。

[0100] 当使用经验证的卫星观测间断时,接收器位置完整性(和/或准确度)可以与相位锁定丢失事件之前相同,可以取决于定位引擎的模式,可以取决于卫星观测间断的验证,可以取决于如何确定卫星观测间断,可以取决于相位锁定丢失的持续时间(或其子集,例如重新收敛时间),可以取决于一组卫星观测结果(或其子集)中的测量结果数量,可以取决于传感器数据(例如,用于生成数据的传感器的类型、传感器偏差等),和/或可以以其他方式来确定。当接收器位置的完整性小于目标完整性时,S500可以包括对载波相位模糊度和/或对卫星观测间断(例如周跳)执行附加的验证检验(例如,多步骤验证的附加步骤)以提高完整性。例如,当S500确定具有约 10^{-4} /小时的TIR的接收器位置时,S500可包括执行载波相位模糊度的第三验证步骤(如上文所公开的),以实现具有约 10^{-7} /小时的TIR的接收器位置。然而,S500可以通过(例如,相对于用于建立定位值的模式)以更高完整性模式操作重新收敛模块,使用如在第17/022,924号美国专利申请(该美国专利申请于2020年9月16日提交,标题为“SYSTEMS AND METHODS FOR HIGH-INTEGRITY SATELLITE POSITIONING”,其通过本引用以其整体并入)中公开的一个或更多过程来附加地或可替代地提高接收器位置的完整性和/或以其它方式提高解决方案的完整性。

[0101] 当在S500中使用未验证的卫星观测间断时,接收器位置完整性和/或准确度通常是未指定的(或未知的)。然而,当使用未验证的卫星观测间断时,接收器位置的完整性可以是已知的或估计的。当使用未验证的卫星观测间断时,S500可以包括:执行一个或更多过程以生成高完整性接收器位置(例如,如上所述),确定(例如,计算)接收器位置完整性,重复S100,和/或任何合适的步骤。

[0102] S600可以包括基于(例如,来自S100、S300、S500等的)接收器位置和/或速度确定外部系统(例如,车辆)位置(和/或定位)和/或速度。外部系统位置可以基于从接收器坐标到外部系统坐标的变换来确定,基于接收器到外部系统的已知相对位置来确定,和/或以其他方式来确定。外部系统位置可以是相对位置(例如,相对于接收器,相对于参考位置,相对于传感器,相对于多个传感器的质心,相对于一个或更多接收器和传感器的质心,等等)和/或绝对位置(例如,坐标)。外部系统位置优选地基于高完整性接收器位置来确定,但是可以基于中等完整性、低完整性、未知完整性和/或任何合适的完整性接收器位置来确定。

[0103] S600可以包括基于外部系统位置来生成外部系统的操作指令和/或(例如,根据操作指令)操作外部系统。例如,车辆的操作指令可以包括进行车道调整以保持在交通车道内、转向指令和/或用于穿越路径、遵守法律、引导外部系统(和/或其用户或乘员)、传递有效载荷(例如,到目标位置)和/或其他目的的其他指令。

[0104] 5. 具体示例

[0105] 在具体示例中,如图4所示,该方法可以包括:使用GNSS定位技术确定第一接收器位置;在卫星信号中断期间(例如,在相位锁定丢失时段期间),基于传感器信号(例如,使用航位推算)确定接收器位置;在卫星信号中断之后(例如,卫星不再被阻碍,系统恢复供电,等等),基于卫星信号中断之前的GNSS位置和(例如,使用航位推算确定的)当前接收器位置确定周跳;验证周跳;基于经验证的周跳确定接收器位置;可选地,传输接收器位置(和完整性);可选地,基于接收器位置操作外部系统,和/或任何合适的步骤。使用GNSS定位技术确定接收器位置可以包括:从多个卫星接收数据,接收参考站数据,估计载波相位模糊度(例如,浮动模糊度、整数模糊度),以及基于估计的相位模糊度计算接收器位置。然而,该方法可以包括任何合适的步骤。

[0106] 在第二具体示例中,如图8所示,该方法可以包括:获取载波信号;基于载波信号确定接收器和/或外部系统位置;检测相位锁定丢失事件;在相位锁定丢失时段期间,使用辅助位置系统(例如,航位推算)估计系统位置;重新获取载波信号;使用估计的系统位置和缓冲的载波信号,估计GNSS中断期间整数模糊度的变化;确定系统位置;验证整数模糊度;以及基于系统位置操作(外部)系统。

[0107] 优选实施例及其变型的方法可以被至少部分地体现和/或实现为被配置成接收存储计算机可读指令的计算机可读介质的机器。指令优选地由与用于GNSS PVT生成的系统集成的计算机可执行部件来执行。计算机可读介质可存储在任何合适的计算机可读媒介(例如RAM、ROM、闪存、EEPROM、光学设备(CD或DVD)、硬盘驱动器、软盘驱动器或任何合适的设备)上。计算机可执行部件优选地是通用或专用处理器,但任何合适的专用硬件或硬件/固件组合设备可以可替代地或附加地执行指令。

[0108] 系统和/或方法的实施例可以包括各种系统部件和各种方法过程的每种组合和置换,其中本文描述的方法和/或过程的一个或更多个实例可以通过和/或使用本文描述的系统、元件和/或实体的一个或更多个实例异步地(例如顺序地)、同时地(例如并行地)或以任何其他合适的顺序来执行。

[0109] 如本领域中的技术人员将从先前的详细描述以及从附图和权利要求中认识到的,可以对本发明的优选实施例做出修改和改变而不偏离在随附权利要求中限定的本发明的范围。

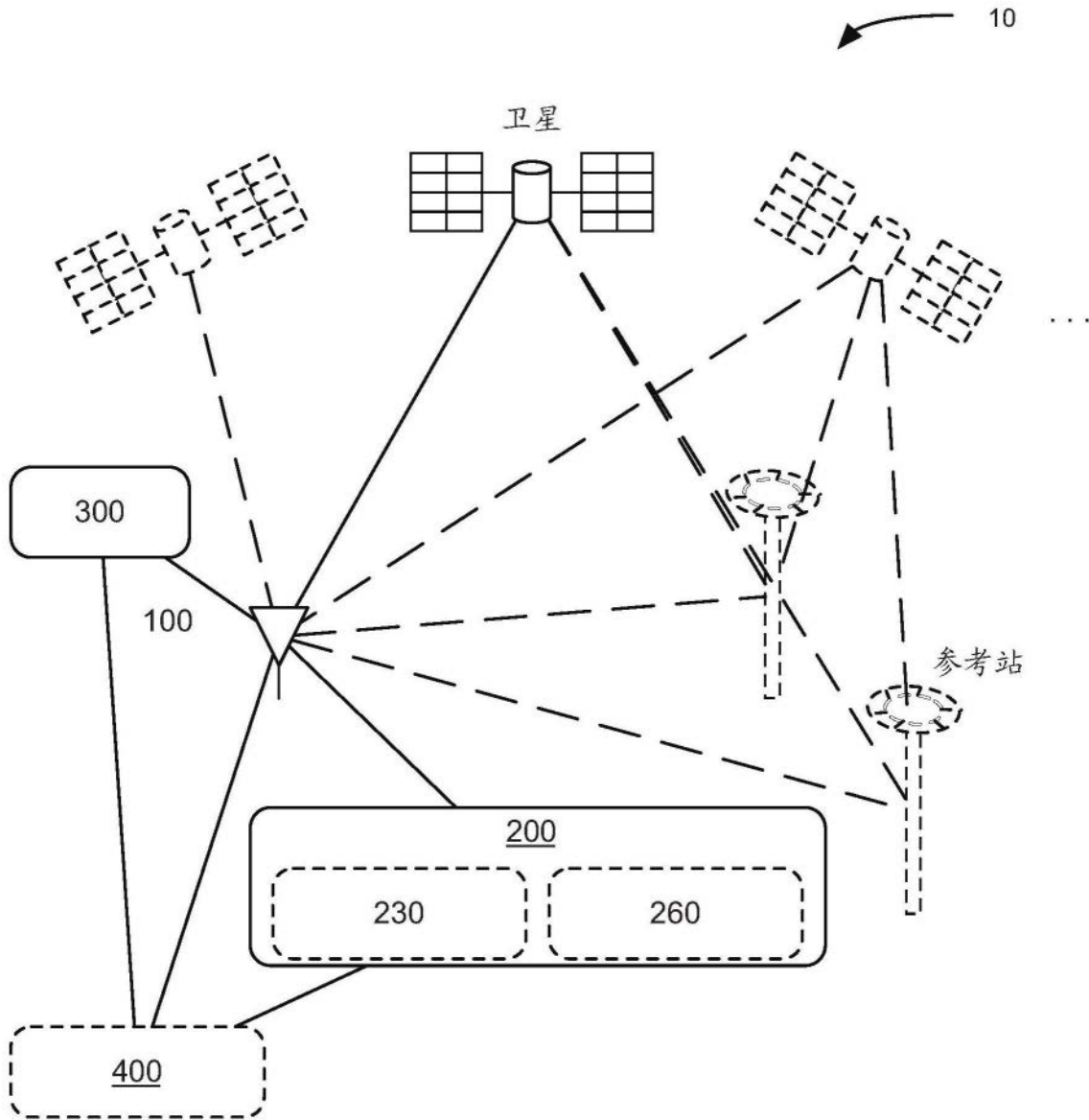


图1

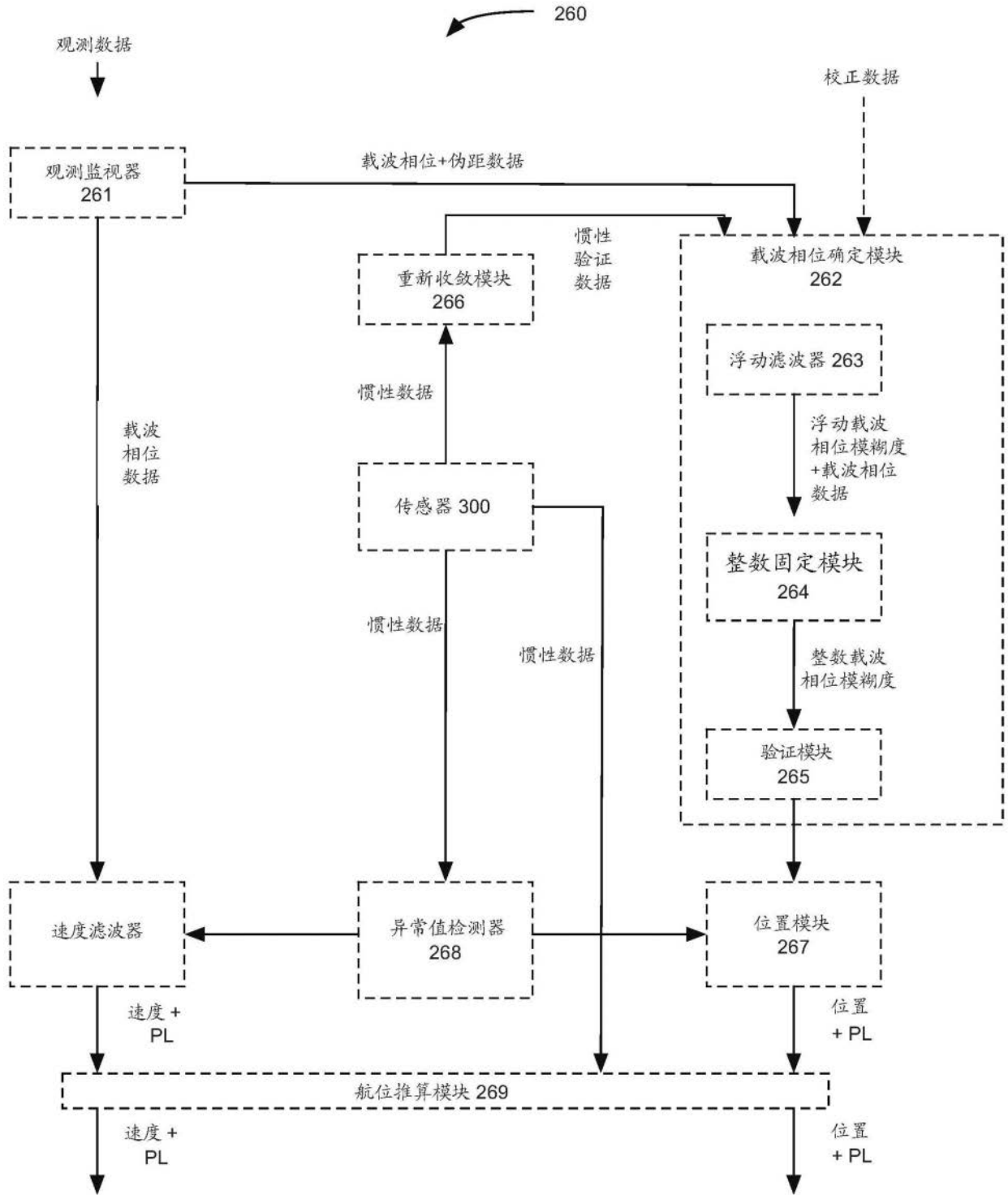


图2

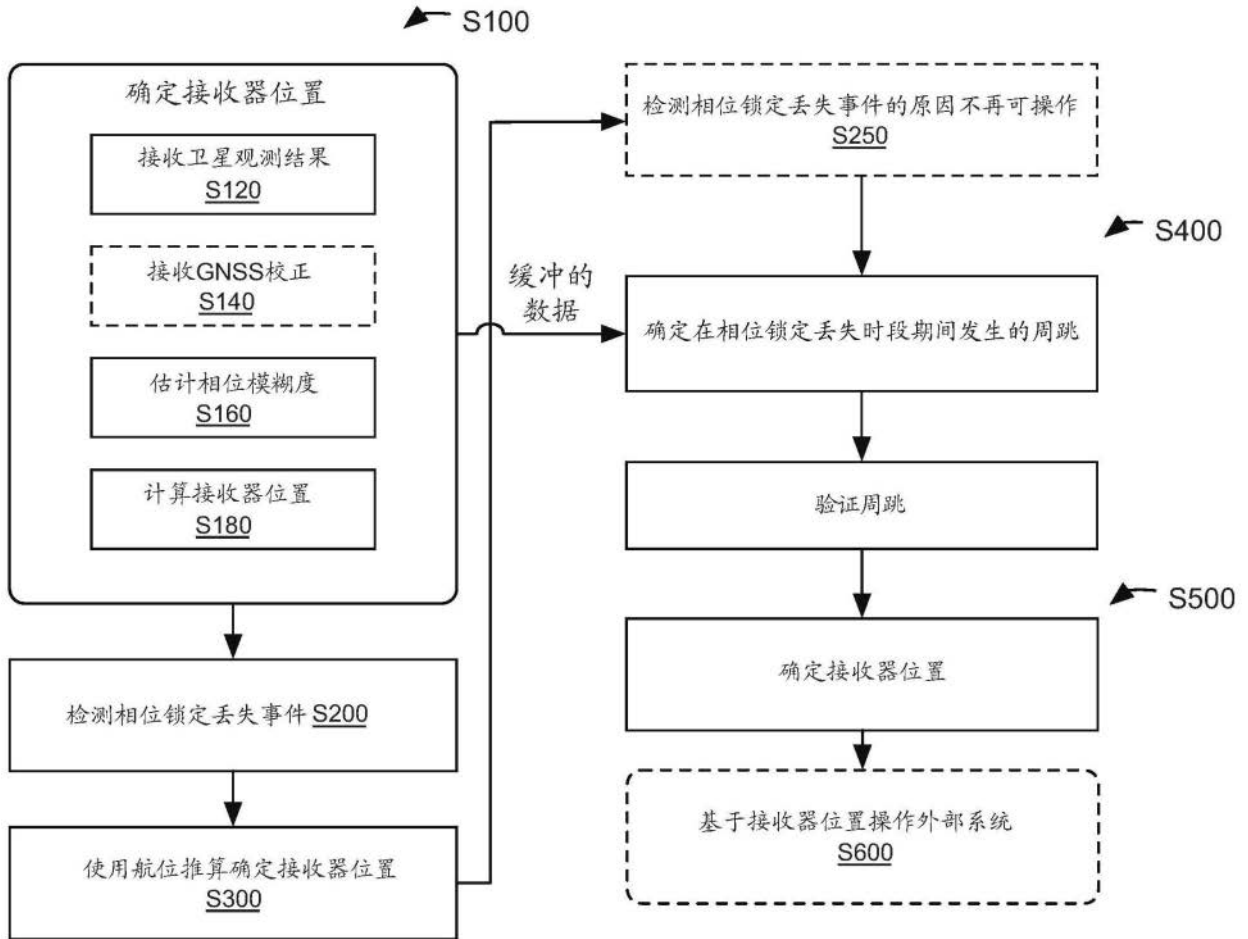


图4

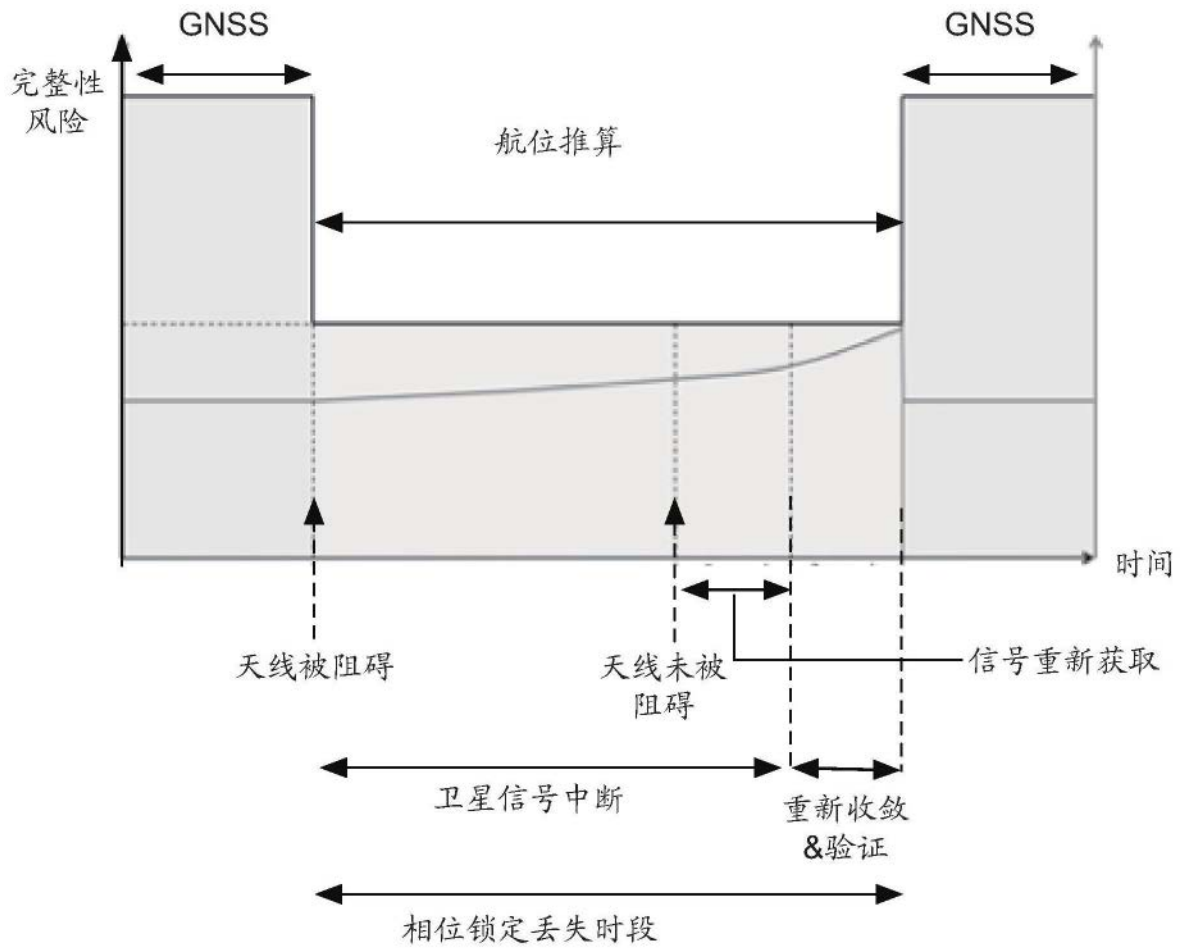


图5A

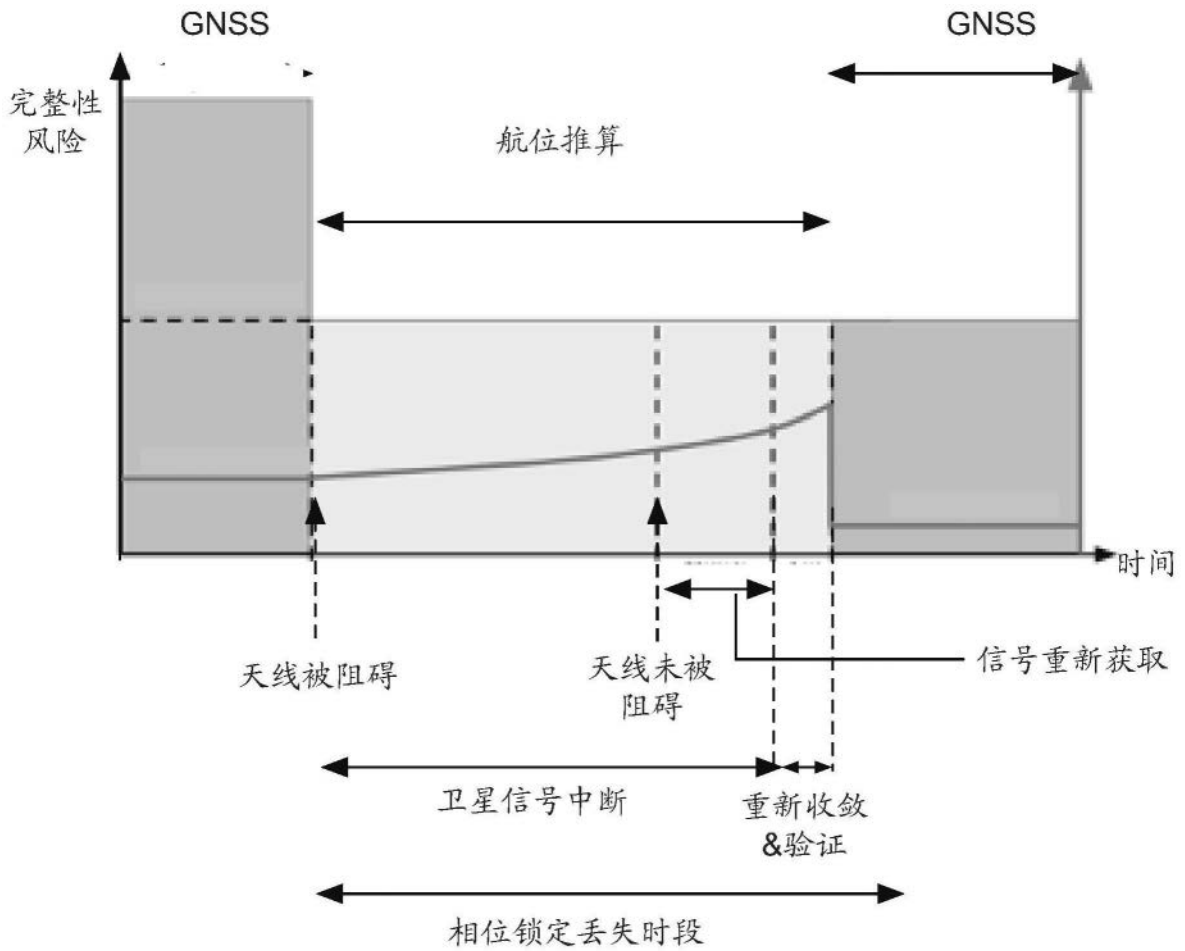


图5B

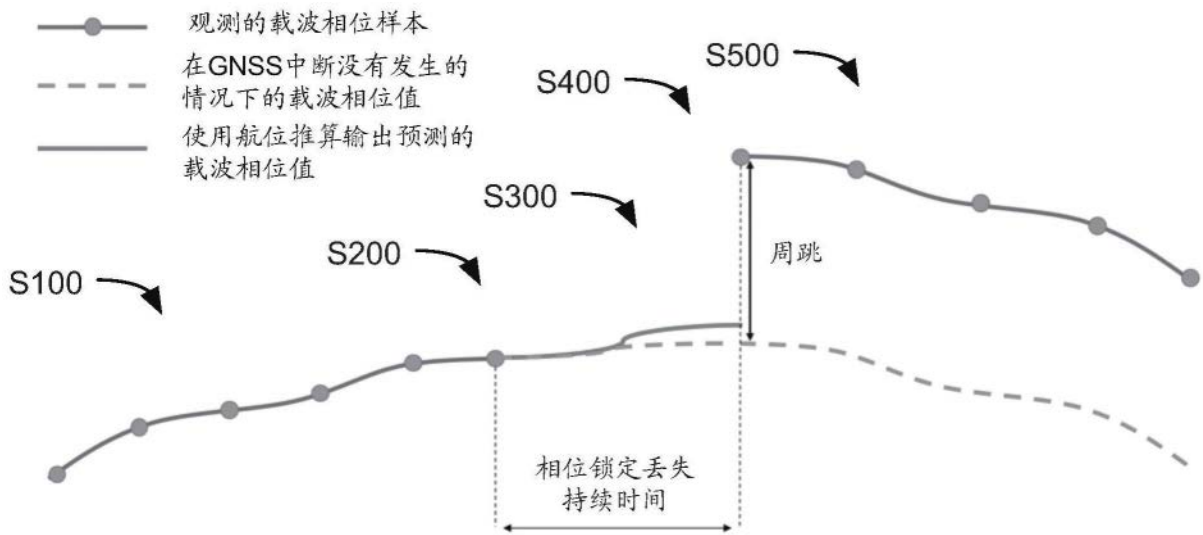


图6

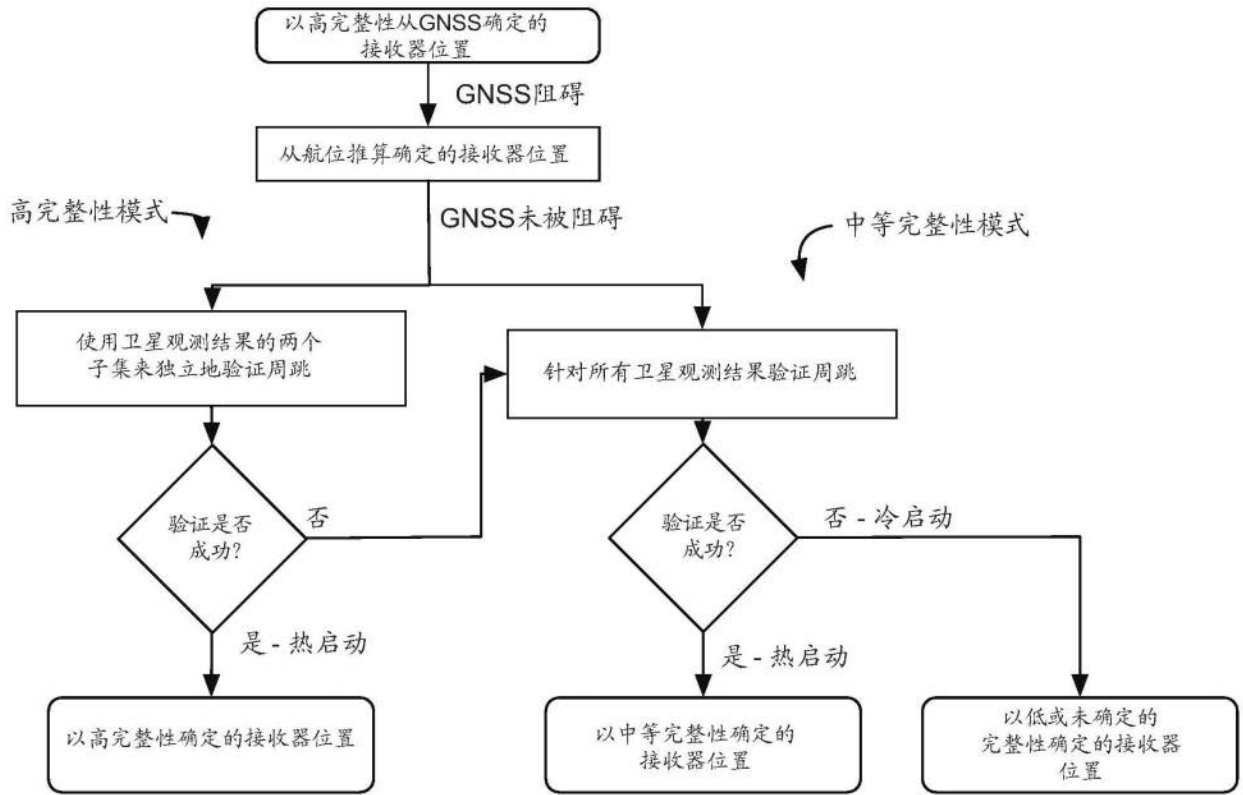


图7

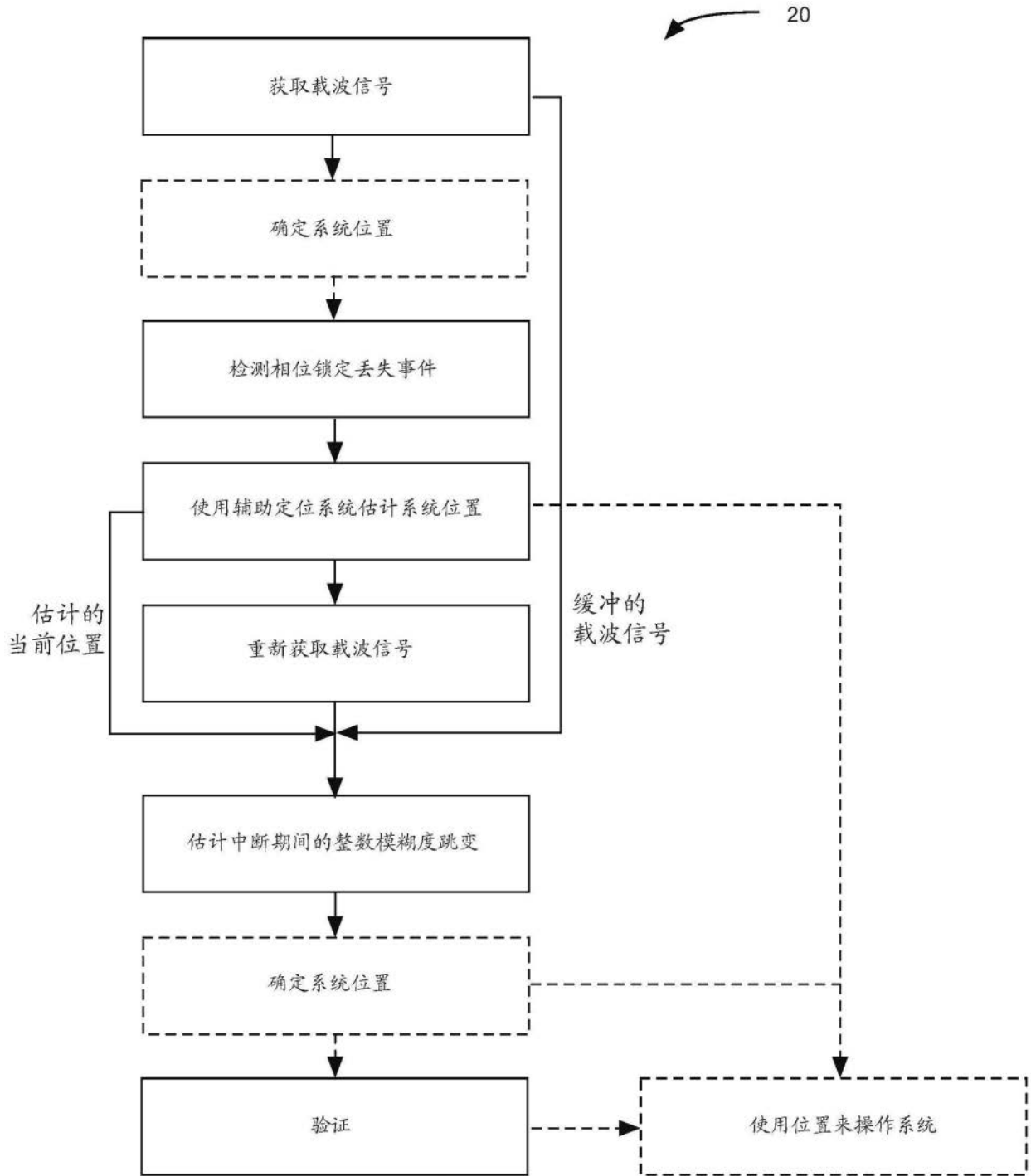


图8

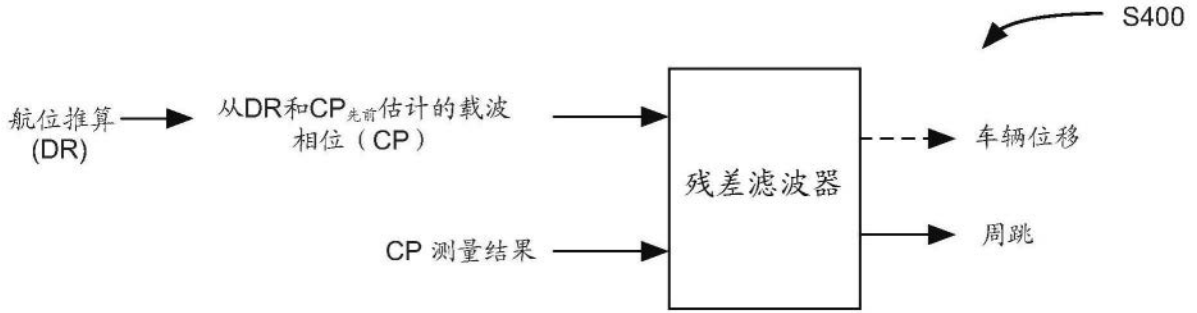


图9A

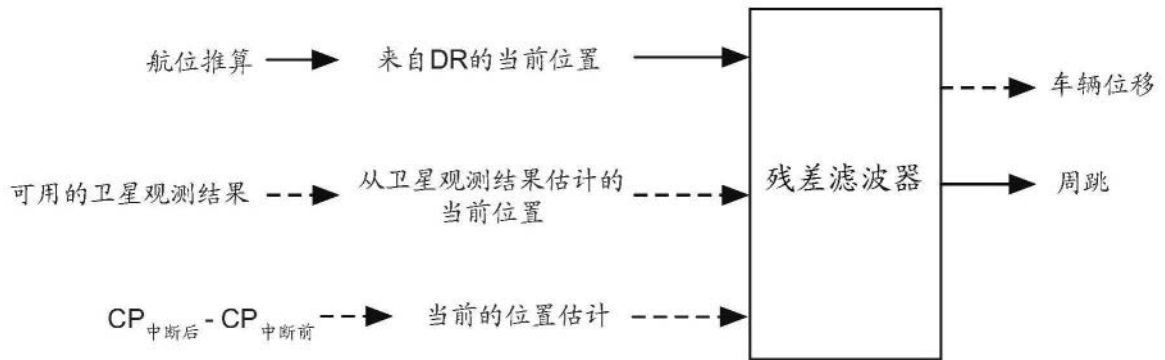


图9B

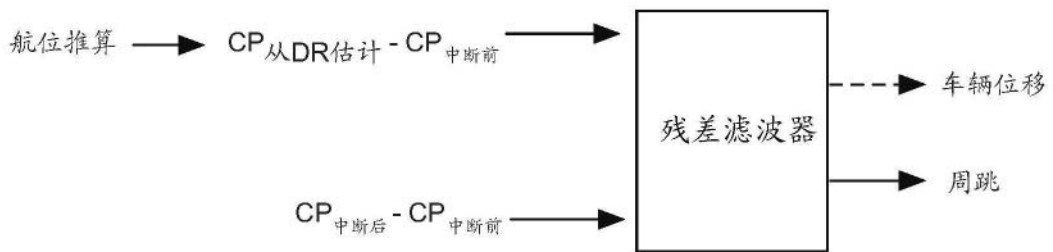


图9C